



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 44 29 748.3  
22 Anmeldetag: 22. 8. 94  
43 Offenlegungstag: 16. 3. 95

DE 44 29 748 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
13.09.93 ES 02041

71 Anmelder:  
Fagor, S. Coop. Ltda., Mondragon, Guipúzcoa, ES

74 Vertreter:  
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal  
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,  
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;  
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,  
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;  
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,  
Dipl.-Chem. Dipl.-Biol. Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,  
80538 München

72 Erfinder:  
Morlanes Calvo, Tomas, Vitoria, ES

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Interferometer und Verfahren zum Messen und Stabilisieren der Wellenlänge des von einer Laserdioden emittierten Lichts

57 Eine Interferometeranordnung zur Verwendung in einem optischen System, bei welchem die genaue Kenntnis der Wellenlänge von emittiertem Licht erforderlich ist, weist ein einziges optisches Element auf, welches direkt im Strahlengang des von einer Laserdioden emittierten Strahlenbündels angeordnet ist, und mittels dessen zwei Strahlenbündel erzeugbar sind, wobei die Differenz der von diesen zurückgelegten Wegstrecken sich allein im Inneren des optischen Elements ergibt und deshalb konstant ist. Die Lichtstärke des Interferenzfelds ist dabei die einzige Variable bei der Berechnung der Wellenlänge.  
Die Interferometeranordnung findet vorzugsweise Verwendung in einem Interferometersystem einer Werkzeugmaschine für die Messung von Längsverschiebungen.

BEST AVAILABLE COPY

DE 44 29 748 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Interferometer, dessen elektrisches Ausgangssignal dem echten Wert der Wellenlänge des von einer Laserdiode emittierten Lichts entspricht, und welches für verschiedene mit einer Laserdiode arbeitende optische Systeme verwendbar ist, insbesondere in solchen Systemen, in denen der genannte echte Wert stabilisiert und/oder gemessen werden soll.

Laserdioden werden vielfach als Emissionsquelle von monochromatischem Licht verwendet, wobei im hinteren Teil des Laserkopfs gewöhnlich ein Photoelement angeordnet ist, welches die in Abhängigkeit von der Temperatur der Laserdiode variable und von deren Alterung abhängige Intensität des emittierten Lichts fortlaufend ermittelt, um diese über den die Stromspeisung der Laserdiode steuernden Treiberkreis möglichst konstant zu halten. Ungeachtet der Einrichtungen zum Überwachen der Temperatur und der Lichtintensität, mit denen ein Laserkopf versehen ist, variiert die Wellenlänge oder "Lambda" des emittierten Lichts in Abhängigkeit von der Temperatur, der Stromspeisung und dem Grad der Alterung der Laserdiode.

Bei mit einer Laserdiode arbeitenden optischen Systemen, von denen eine hohe Präzision gefordert ist, ist es daher notwendig, den echten Wert von Lambda zu kennen, insbesondere in Interferometersystemen zum Messen von Entfernungen oder Längsverschiebungen. Zum Messen und/oder Stabilisieren von Lambda sind in solchen Systemen Hilfs-Interferometer nach Michelson oder Mach-Zender vorgesehen, wie z. B. in DE-PS 39 30 273 (HELIOS), DD-PS 2 92 695 (JENOPTIK ZEISS), WO 91/02214 (MICRO-CONTROLE) und US-PS 4 900 151 (HOMMELWERKE) beschrieben. Diese Interferometer arbeiten mit einem Teil des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels, welcher mittels eines im Strahlengang des Hauptlichtbündels angeordneten Strahlteilers abgezweigt wird.

Bei den in den genannten Patentschriften beschriebenen Systemen erzeugt der zum Messen und/oder Stabilisieren von Lambda vorgesehene Hilfs-Interferometer das Interferenzfeld durch Kombination zweier Strahlenbündel, welche entlang getrennten optischen Linien verlaufen.

Nachdem auf diese Weise mittels des Hilfs-Interferometers die Interferenz der beiden Strahlenbündel ermittelt wurde, wird die Lichtintensität des Interferenzfelds mittels Photodioden in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches der Lichtintensität sowie  $\cos^2$  der Relation zwischen der bekannten Differenz der Strahlengänge und Lambda proportional ist. Dieses Signal wird zur Stabilisierung von Lambda an die Laserdiode gelegt (DE 39 30 273 (HELIOS), US 5 172 185 (TABARELLI)) oder es wird zur Berechnung eines Bezugswerts für Lambda zur Messung einer Verschiebung mittels des Haupt-Interferometers verwendet (WO 91/02214).

Die durch die vorliegende Erfindung vorgeschlagene Interferometeranordnung für die fortlaufende Messung des Werts von Lambda weist ein einziges optisches Element auf, welches direkt im Strahlengang des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels angeordnet ist und unmittelbar ein Interferenzfeld erzeugt, dessen Lichtintensität von einer Photodiode gemessen wird.

Dank ihrer baulichen Einfachheit bietet die erfindungsgemäße Interferometeranordnung beträchtliche wirtschaftliche Vorteile gegenüber bekannten Interferometeranordnungen, welche zusätzlich zu dem die bei-

den Meßstrahlen kombinierenden und damit das Interferenzfeld erzeugenden optischen Element wenigstens einen Strahlteiler im Strahlengang des von der Laserdiode emittierten Lichts und einen die Meßstrahlen reflektierenden Spiegel benötigen.

Da das erfindungsgemäße Interferometer direkt im Strahlengang des von der Laserdiode emittierten Lichts angeordnet ist, zweigt es nur einen kleinen Anteil der Lichtintensität für die Erzeugung des Interferenzfelds ab und läßt den größten Teil des Lichts zum Hauptteil des optischen Systems durch. Da die Intensität des die Photodiode der zur Messung von Lambda dienenden Anordnung beaufschlagenden Lichts stets von der Intensität des emittierten Laserstrahls abhängig ist, muß das Meßelement des Hauptsystems mit Einrichtungen für die fortlaufende Bestimmung eines auf die Intensität des emittierten Strahlenbündels bezogenen Koeffizienten versehen sein, wobei dieser Wert von der durch das Photoelement des Laserkopfs ermittelten Lichtintensität abgeleitet werden kann.

In einer Ausführungsform der Erfindung kann ein in Abhängigkeit von dem Photoelement von dem Meßelement erzeugtes Signal zur Stabilisierung von Lambda an den Treiberkreis der Laserdiode gelegt werden.

Die erfindungsgemäße Interferometeranordnung umfaßt

- ein einziges optisches Element, etwa in Form einer massiven Scheibe, mit zwei parallelen Flächen, welches direkt im Strahlengang einer Licht emittierenden Laserdiode angeordnet ist, so daß es den größten Teil des Strahlenbündels zum Hauptteil des optischen Systems durchläßt und aus einem kleinen Teil des Strahlenbündels ein Interferenzfeld erzeugt, dessen Intensität der zu messenden Wellenlänge des Laserstrahlenbündels proportional ist; und
- eine zur Beaufschlagung durch das Interferenzfeld in bekannter Weise angeordnete Photodiode mit einer zugeordneten elektrischen Schaltungsanordnung zum Erzeugen eines elektrischen Signals, dessen Wert der Lichtintensität des Interferenzfelds entspricht.

Das das wesentliche Merkmal der Erfindung darstellende einzige optische Element kann, wie nachstehend beschrieben, in verschiedener Weise ausgeführt sein, um durch partielle Reflexion oder partielle Brechung des emittierten Strahlenbündels ein Interferenzfeld zwischen parallelen Strahlenbündeln zu erzeugen.

Im folgenden sind Ausführungsbeispiele des Erfindung anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine schematisierte Darstellung einer Interferometeranordnung zum Messen von Längsverschiebungen, mit einer Hilfseinrichtung zum Messen der Wellenlänge Lambda,

Fig. 2 eine Ausführungsform der im Strahlengang des zu messenden Laserstrahls angeordneten Hilfseinrichtung,

Fig. 3 eine andere Ausführungsform der Hilfseinrichtung mit zwei durch einen Luftspalt getrennten, parallelen Scheiben, und

Fig. 4 eine Ausführungsform der Hilfseinrichtung mit zwei zueinander parallelen Brechungsgittern.

In Fig. 1 ist eine Interferometer-Hilfseinrichtung 1 im Strahlengang des von einer Laserdiode 2 emittierten Strahlenbündels 11 derart angeordnet, daß sie ein Strahlenbündel 12 der Intensität  $I_0$  zum Hauptteil eines opti-

schen Systems durchläßt. Das beschriebene Beispiel ist die Interferometer-Hilfseinrichtung 1 zum Messen der Wellenlänge  $\lambda$  einem herkömmlichen Interferometer 4 zum Messen von Längsverschiebungen oder Positionen in einer mit einem Rechner 5 arbeitenden Werkzeugmaschine zugeordnet.

Der die Licht emittierende Laserdioden speisende Strom ist über einen Treiberkreis gesteuert, um die Intensität  $I_e$  des emittierten Lichts möglichst auf dem Sollwert zu halten. Eine zu diesem Zweck der Laserdioden zugeordnete (nicht dargestellte) Meß-Photodiode ist von Licht der Intensität  $I_m$  beaufschlagt. Ein der Intensität  $I_m$  entsprechendes elektrisches Signal 3 wird dem Rechner 5 zugeführt, um bei der Berechnung der Wellenlänge  $\lambda$  die Abhängigkeit der Intensität des Interferenzfelds von der Intensität  $I_e$  des emittierten Lichts zu kompensieren.

Die Interferometer-Hilfseinrichtung 1 erzeugt durch die Kombination zweier Strahlenbündel 13, 14 ein Interferenzfeld der Lichtintensität  $I$ , welches ein Photoelement 10 beaufschlagt.

Dieses erzeugt ein elektrisches Signal 16 von einem der Intensität  $I$  entsprechenden Wert  $A$ , welches für die Messung und Berechnung der Wellenlänge  $\lambda$  dem Rechner 5 des Systems zugeführt wird. In einer Ausführungsform der Erfindung kann ein durch den Rechner 5 vom Ausgangssignal des Photoelements 10 abgeleitetes, einen Wert  $A'$  aufweisendes Signal 17 zur Stabilisierung der Wellenlänge  $\lambda$  an den Treiberkreis 7 gelegt werden.

Eine in Fig. 1 gezeigte bevorzugte Ausführungsform der Interferometer-Hilfseinrichtung ist im einzelnen in Fig. 2 dargestellt. Eine Scheibe 9 mit planparallelen Oberflächen 9a, 9b erzeugt aus der Kombination zweier Strahlenbündel 13, 14 ein Interferenzfeld 15, wobei das erste Strahlenbündel 13 durch Reflexion an der Vorderseite 9a und das zweite Strahlenbündel 14 durch Reflexion an der Rückseite 9b der Scheibe 9 erzeugt wird. Um die beiden Strahlenbündel 13, 14 erzeugen und gleichzeitig ein den größeren Teil des emittierten Strahlenbündels 11 darstellendes Strahlenbündel 12 durchlassen zu können, hat die Scheibe 9 keinerlei Beschichtung und ist aus einem Glas gefertigt, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient und Brechungsindex in Abhängigkeit von der Temperatur variabel sind, so daß das Produkt "nd" aus dem Brechungsindex "n" des Glases und der Stärke "d" der Scheibe in vorhersehbarer Weise in Abhängigkeit von der Temperatur variiert, um für die Messung des echten Werts von  $\lambda$  einen  $\lambda$ -Wärmeausdehnungskoeffizienten mit dem Wert Null oder auch mit einem vorbestimmten Wert zu erhalten, welcher z. B. auf ein in einer Werkzeugmaschine zu bearbeitendes Material bezogen ist, wenn ein korrigierter Wert für  $\lambda$  gemessen werden soll, wobei dann die Messungen auf eine vorbestimmte "Normaltemperatur" bezogen sein können.

Die Differenz  $D$  der Längen der Strahlengänge der beiden Strahlenbündel 13 und 14 ist auf das Innere der Hilfseinrichtung 1 beschränkt, so daß ihre Größe allein von den physikalischen Eigenschaften der Scheibe 9 und ihrer Ausrichtung  $\alpha$  im Hauptsystem abhängig ist. Dabei ist  $D$  dann ein konstanter Faktor in der Formel  $I = R \cdot I_e \cdot \cos^2((2/\lambda)D)$  für die Berechnung von  $\lambda$ . Der Wert  $A$  des Ausgangssignals 16 des Photoelements ist abhängig von  $\lambda$  und  $I_e$ , wobei  $R$  eine auf die Reflexionskraft der Scheibe 9 bezogene Konstante ist. Der Rechner 5 berechnet die Größe von  $\lambda$  unabhängig von der Intensität  $I_e$  des von der

Laserdiode emittierten Lichts durch Verwendung eines relativen Werts des Ausgangssignals 16 des Photoelements, welcher durch Division seines Werts  $A$  durch den Wert des Ausgangssignals 3 des der Laserdiode zugeordneten Photoelements erhalten wird, entsprechend der Vorgabe, daß die Intensität  $I_m$  des das Photoelement beaufschlagenden Lichts der Intensität  $I_e$  des emittierten Strahlenbündels 11 proportional ist.

Der so erhaltene Wert für  $\lambda$  wird vom Haupt-Interferometer 4 für die Messung von Verschiebungen oder gegebenenfalls in einem anderen zugeordneten optischen System verwendet.

Fig. 3 zeigt eine zweite bevorzugte Ausführungsform der Hilfseinrichtung 1, welche ebenfalls mit partieller Reflexion arbeitet. Das Strahlteiler-element 6 ist hier aus zwei planparallelen Scheiben zusammengesetzt, namentlich einer vorderen Scheibe 6a und einer hinteren Scheibe 6b, welche über aus dem gleichen Material gefertigte Abstandhalter 19 miteinander verbunden sind, so daß sie einen freien Raum 18 begrenzen, welcher von der auch das Haupt-Interferometer 4 umgebenden Luft ausgefüllt ist. Sowohl die planparallelen Scheiben als auch die Abstandhalter sind aus einem Glas gefertigt, welches die gleichen Eigenschaften hat wie in der ersten Ausführungsform. Die den Zwischenraum 18 ausfüllende Luft bewirkt in dem Element 6 die gleichen Änderungen der Temperatur, des Brechungsindex und der optischen Durchlässigkeit wie sie im Haupt-Interferometer auftreten, so daß die Messung weitgehend unabhängig von Umwelteinflüssen und dadurch genauer ist als in der ersten Ausführungsform. Falls der Zwischenraum 18 anstatt mit Luft mit einem anderen die Scheiben auf Abstand haltenden Stoff gefüllt ist, ergibt sich für  $\lambda$  ein Wärmeausdehnungskoeffizient gleich dem des den Zwischenraum ausfüllenden Stoffs.

Bei der in der zweiten Ausführungsform verwendeten Doppelscheibe 6 entsteht das Interferenzfeld zwischen den von den Innenflächen der beiden Scheiben reflektierten Strahlenbündeln. Um dies zu gewährleisten, sind die Außenflächen der beiden Scheiben 6a und 6b mit einem Antireflexbelag versehen.

Fig. 4 zeigt eine dritte Ausführungsform des Hilfs-Interferometers 1, in welcher die Strahlteilung nicht, wie in den ersten beiden Ausführungsformen, durch partielle Reflexion erfolgt, sondern mit Hilfe von Brechungsgittern bewerkstelligt ist. Das Strahlteiler-element 8 setzt sich hier aus zwei in gegenseitigem Parallelabstand angeordneten Brechungsgittern zusammen, namentlich einem vorderen und einem hinteren Brechungsgitter 8a bzw. 8b, jeweils mit parallelen und gleich beabstandeten Gitterlinien, welche jeweils beispielsweise auf eine Seite einer als Abstandhalter dienenden Glasscheibe aufgedruckt sind.

Das emittierte Strahlenbündel 11 erfährt im vorderen Brechungsgitter 8a eine erste Brechung und wird dabei in die Komponenten  $-1, 0$  und  $+1$  zerlegt, wobei die jeweilige Komponente 0 im hinteren Brechungsgitter 8b eine erneute Brechung erfährt. Die sich dabei ergebenden Strahlenbündel  $(-1, 0)$  und  $(0, -1)$  sowie  $(+1, 0)$  und  $(0, +1)$  erzeugen jeweils ein Interferenzfeld, während die Hauptkomponente  $(0, 0)$  von der Vorrichtung 1 durchgelassen wird und das Haupt-Interferometer 4 beaufschlagt.

Die Lichtstärke jedes der beiden Interferenzfelder wird von diesen zugeordneten Photoelementen 10a, 10b in entsprechende elektrische Signale mit dem Wert  $A_1$  bzw.  $A_2$  umgewandelt. Durch antiparallele Kombination der beiden Signale ergibt sich, anders als bei den ersten

beiden Ausführungsformen ein elektrisches Signal, welches aufgrund seiner Kosinusfunktion einen Nulldurchgang aufweist und zur Stabilisierung der Wellenlänge ebenfalls an den Treiberkreis der Laserdiode gelegt werden kann.

Mit den beiden Brechungsgittern 8a, 8b der dritten Ausführungsform ist ein günstigerer Signal/Rauschabstand erzielbar als in den beiden anderen Ausführungsformen, und damit auch eine größere Präzision. Dadurch ist es möglich, die Dichte der Brechungsgitter zu begrenzen und sie der jeweils erforderlichen Meßgenauigkeit anzupassen.

#### Patentansprüche

1. Interferometeranordnung zum Messen und Stabilisieren der Wellenlänge eines von einer Laserdiode eines optischen Systems emittierten Strahlenbündels, mit Einrichtungen für die Gewinnung einer Kombination von Strahlenbündeln zum Erzeugen eines Interferenzfelds, dessen Lichtintensität von der Wellenlänge abhängig ist, und mit einer Photodiode zum Erzeugen eines der Lichtintensität entsprechenden elektrischen Signals, dadurch gekennzeichnet, daß ein einziges optisches Element (9) in einer vorbestimmten festen Stellung direkt im Strahlengang des emittierten Strahlenbündels (11) angeordnet ist, daß die Strahlenbündel (13, 14) für die Erzeugung des Interferenzfelds von dem einen optischen Element erzeugbar sind, und daß sich die Differenz der von den Strahlenbündeln zurückgelegten Wegstrecken allein im Inneren des optischen Elements ergibt.

2. Interferometeranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das einzige optische Element (1) eine eine vorbestimmte Stärke aufweisende und von Beschichtungen freie Scheibe (9) mit planparallelen Oberflächen (9a, 9b) aufweist, und daß die Strahlenbündel (13, 14) für die Erzeugung des Interferenzfelds durch partielle Reflexion des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels (11) an den beiden Oberflächen (9a, 9b) erzeugbar sind.

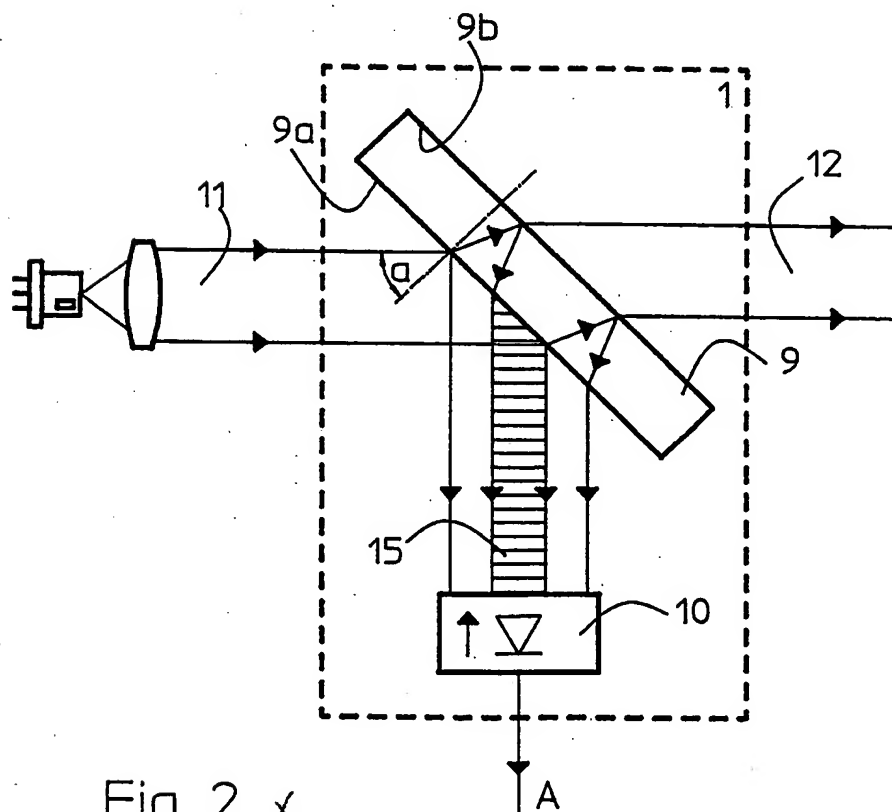
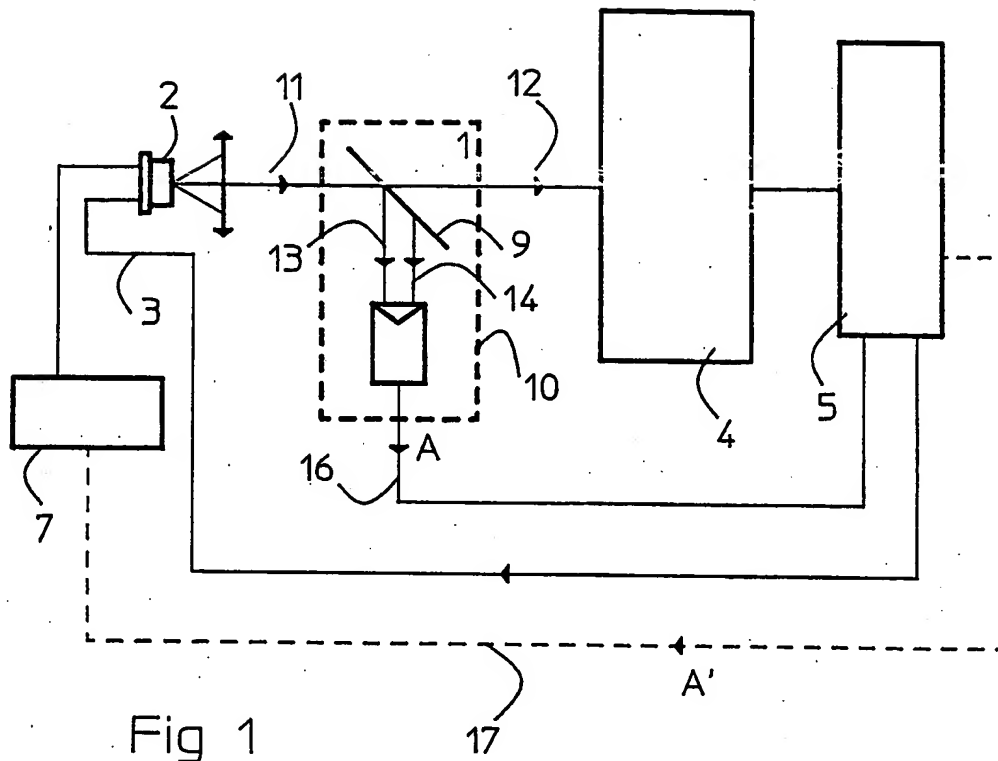
3. Interferometeranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das einzige optische Element (1) aus zwei planparallele Oberflächen aufweisenden Scheiben (6a, 6b) zusammengesetzt ist, deren äußere Oberflächen mit einem Antireflexbelag versehen sind, und welche durch einen Luftspalt (18) voneinander getrennt sind, so daß die zwei Strahlenbündel (13, 14) für die Erzeugung des Interferenzfelds durch partielle Reflexion des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels (11) an den Innenflächen der beiden Scheiben (6a, 6b) erzeugbar sind.

4. Interferometeranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das einzige optische Element zwei in einem vorbestimmten Abstand parallel zueinander angeordnete Brechungsgitter (8a, 8b) mit parallelen und gleich beabstandeten Gitterlinien aufweist, und daß die Strahlenbündel für die Erzeugung des Interferenzfelds durch partielle Brechung des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels (11) an den beiden Brechungsgittern erzeugbar sind.

5. Verfahren zum Messen und Stabilisieren der Wellenlänge eines von einer Laserdiode eines optischen Systems emittierten Strahlenbündels mittels

einer Interferometeranordnung nach Anspruch 1, bei welchem das die Interferometeranordnung einbeziehende optische System mit Einrichtungen (3, 5) zum Messen der Lichtstärke des von der Laserdiode emittierten Strahlenbündels (11) versehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der von den Strahlenbündeln (13, 14) für die Erzeugung des Interferenzfelds zurückzulegenden Wegstrecken durch das einzige optische Element (9, 6, 8) bestimmt und vorgegeben ist, so daß sich die Wellenlänge des emittierten Strahlenbündels (11) durch alleinige Messung der Intensität des von dem optischen Element erzeugten Interferenzfelds (15) unter Zuhilfenahme eines der Lichtstärke des emittierten Strahlenbündels (11) entsprechenden elektrischen Signals (3) bestimmen läßt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



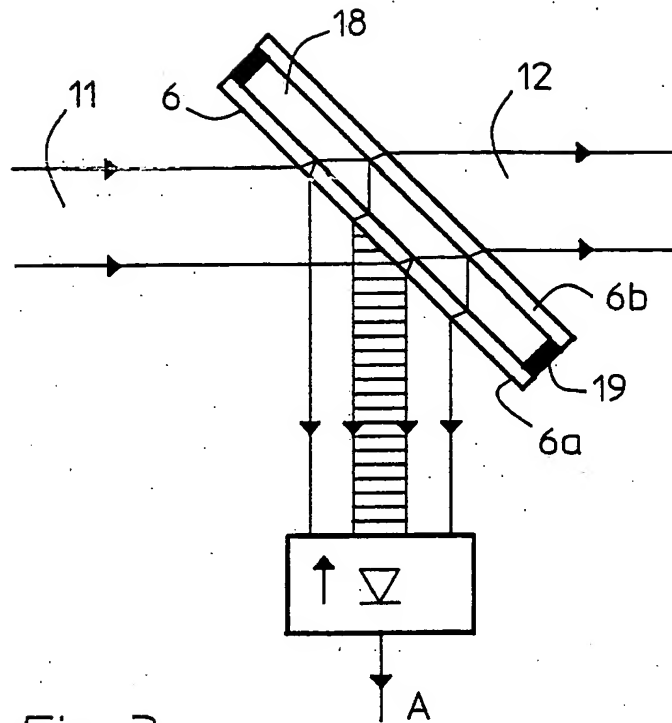


Fig 3

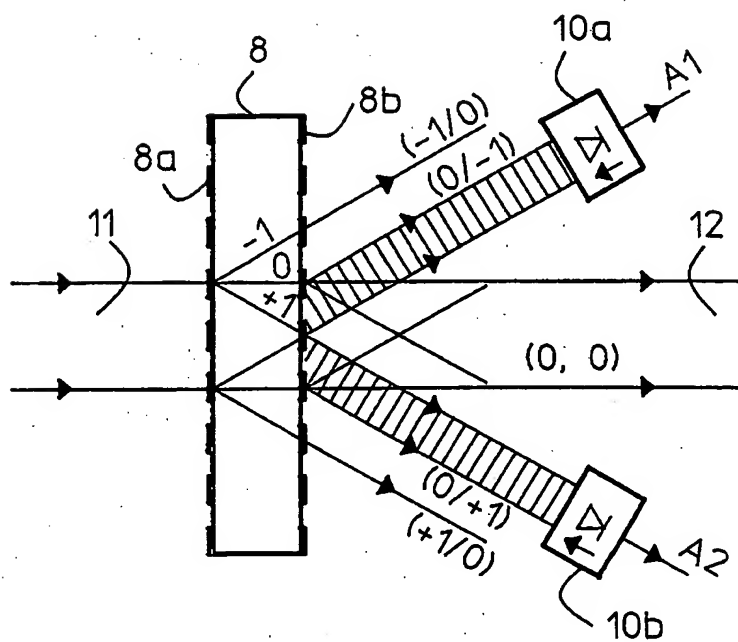


Fig 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**